



**UNIVERSITY
OF OULU**

TIETO- JA SÄHKÖTEKNIIKAN TIEDEKUNTA

**Niko Käsäkoski
Jaakko Jyrkkä
Juho Annunen**

SILMIEN LIIKKEIDEN SIMULOINTI ETÄLÄSNÄOLOROBOTISSA

Kandidaatintyö
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Heinäkuu 2021

Känsäkoski N., Jyrkkä J., Annunen J. (2021) Silmien liikkeiden simulointi etäläsnäolorobotissa. Oulun yliopisto, Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö, 27 s.

TIIVISTELMÄ

Koronaviruspandemian takia etätyöskentely on lisääntynyt valtavasti. Opiskelijat katsovat luentoja kotoaan ja työkaverit näkevät toisiaan vain videokuvan välityksellä. Kysymykseksi jää, voiko läsnäoloa parantaa etätyöskentelyssä äänen ja videokuvan lisäksi.

Tässä työssä esitellään järjestelmä, joka kopioi käyttäjän silmien liikettä robotin silmien liikkeiksi reaaliajassa. Käyttäjän kasvoja kuvaamalla saadaan tietoon käyttäjän silmien asento tunnistamalla kuvasta kasvot ja sitten rajaamalla silmät. Silmien asentojen tieto lähetetään UDP (User Datagram Protocol) tiedonsiirtoprotokollan avulla toiselle tietokoneelle. Siellä tieto otetaan vastaan ja lähetetään virtuaalikoneelle, jolla käytetään ROS2 (Robot Operating System 2) käyttöjärjestelmää.

ROS2-järjestelmässä käytetään action client ja data publisher -osaohjelmia. Data publisher lähettää action clientille paikkatietoa, jonka avulla robotin liikkuminen tapahtuu. Action client antaa käskyjä robotin XL-320 -servoille, jotka liikuttavat robotin silmiä samaan asentoon käyttäjän kanssa.

Järjestelmän viivettä testattiin pyytämällä käyttäjää katsomaan puolelta toiselle ja mittaamalla viivettä videokuvasta. Aikaväli valittiin käyttäjän silmien liikkeiden ja robotin silmien liikkeiden pysähtymisen välillä. Viivettä syntyi tietokoneen laskiessa tunnistusalgorimejä ja robotin liikuttaessa servoja. Tuloksena saatu viive on liian pitkä luomaan luonnollista etäläsnäolokokemusta.

Avainsanat: silmien seuranta, etätyöskentely, etäläsnäolo, robotti, ROS2

Känsäkoski N., Jyrkkä J., Annunen J. (2021) Simulation of Eye Movement in a Telepresence Robot. University of Oulu, Degree Programme in Computer Science and Engineering, Bachelor's Thesis 27 p.

ABSTRACT

Because of the Coronavirus pandemic, remote working has been increasing significantly. Students watch lectures from home and coworkers see each other only through video. Question remains whether presence can be improved with remote working in addition to voice and video.

In this project a system was developed that copies user's eye movements to robot's eye movements in real time. Filming the user's face will give the user's eyes position by recognizing their face and then cropping their eyes. The eyes position is sent with UDP (User Datagram Protocol) data transfer protocol to another computer. There information is received and sent to virtual machine, which uses ROS2 (Robot Operating System) operating system.

ROS2 system uses action client and data publisher nodes. Data publisher sends position information to action client which controls the robot. Action client gives commands to robot's XL-320 servo motors, which move robot's eyes to same position as the user's.

System's delay was tested by asking user to look from side to side and measuring the delay from video. Time interval was chosen between the end of user's eye movement and the end of robots eye movement. Delay was produced with computer calculating recognition algorithms and robot moving the servos. Resulting delay is too long to create natural telepresence experience.

Keywords: eye tracking, remote working, telepresence, robot, ROS2

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

1. JOHDANTO	7
2. ROBOTTIEN KÄYTTÄMINEN ETÄLÄSNÄOLOSSA	9
2.1. Etäläsnäolorobotti	9
2.1.1. Käyttäjän varusteet etäläsnäolorobotin käyttämiseen.....	10
2.2. Robotin ja ihmisen vuorovaikutus	11
2.2.1. Tahallisen ja tahattoman liikkeen vaikutus ihmisen ja robotin väliseen vuorovaikutukseen.....	11
2.2.2. Robottisilmä	12
3. KASVOJEN, SILMIEN JA LIIKKEEN TUNNISTAMINEN VIDEOKUVASTA	13
3.1. Kasvojen tunnistus.....	13
3.2. Silmän tunnistus	13
3.2.1. Silmän tunnistus kasvoista	13
3.2.2. Kuvan prosessointi	14
3.2.3. Silmän asennon tunnistaminen	14
4. TOTEUTETTU JÄRJESTELMÄ	16
4.1. Laitteisto	16
4.2. Ohjelmisto.....	19
5. TESTAUS.....	21
5.1. Testin kuvaus.....	21
5.2. Analysointi.....	21
5.3. Jatkokehitys.....	22
6. YHTEENVETO.....	23
7. VIITTEET	24

ALKULAUSE

Haluamme kiittää Jukka Pajukangasta ja Teemu Tokolaa työn ohjauksesta, sekä professori Juha Röningiä työn tarkistamisesta. Tämä kandidaatintyö on tehty osana projektikurssia Sulautettujen Ohjelmistojen Projektin 521275A.

Oulussa 16. heinäkuuta 2021

Niko Känsäkoski
Jaakko Jyrkkä
Juho Annunen

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

Cdf	Kertymäfunktio
<i>COVID-19</i>	coronavirus disease 2019
Hz	hertsi
N	Otoskoko
P_k	Alkion k todennäköisyys
<i>ROS2</i>	Robot Operating System 2
<i>UDP</i>	User Datagram Protocol
<i>USB</i>	Universal Serial Bus
<i>VR</i>	virtuaalitodellisuus
<i>WHO</i>	World Health Organization
$2D$	kaksiulotteinen
$3D$	kolmiulotteinen

1. JOHDANTO

Yhteiskunnassa ihmisten välinen vuorovaikutus on erittäin tärkeää. Ihmiset toimivat yhdessä toistensa kanssa hyvin nuoresta iästä lähtien. Lapset ja nuoret käyvät koulua ja viettävät aikaa yhdessä, ja myöhemmässä elämänvaiheessa mukaan tulevat myös työ ja erinäiset arkipäivän vuorovaikutukset. Kriisitilanteissa, kuten esimerkiksi pandemian aikana, vuorovaikutustilanteiden tärkeys säilyy, mutta ihmiskontaktien turvallisuus vaaraantuu [1]. Yhteiskunnan, ja ihmisten yksilöinä, täytyy vastaavissa tilanteissa miettiä, mitkä vuorovaikutustilanteet ovat tärkeitä, ja mitkä voidaan välttää. Tämän lisäksi on tärkeää kehittää tapoja ylläpitää eri vuorovaikutustilanteita mahdollisimman turvallisissa olosuhteissa. Eräs tapa säilyttää esimerkiksi koulutus-, opiskelu-, sekä työtilanteiden toiminta on lisätä etätyöskentelymahdollisuuksia.

Vaaratilanteita pandemian aikana ei voida kuitenkaan välttää kokonaan, joten ratkaisuja vaarallisten kontaktien välttämiseksi tarvitaan. Esimerkiksi hoitajien tilanne oli vakava jo COVID-19-pandemian alkuaikoina maaliskuussa 2020. Kiinassa 3300 hoitajaa ja Italiassa 20 % hoitajista oli saanut tartunnan [2]. Maailman terveysjärjestön, WHO (World Health Organization), mukaan yksi tärkeä keino vähentää riskiä taudin levittämiseen on pitää riittävä etäisyys muihin, sekä turhan kontaktin välttäminen [3].

Etätyöskentelymahdollisuuksia voidaan toteuttaa esimerkiksi työskentelemällä kotoa käsin mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi Oulun yliopistossa siirryttiin etäopiskeluun järjestämällä luennot, tentit, sekä erinäiset harjoitusryhmät ja laboratoriotyöt siten, että opiskelijat voivat suorittaa tehtävät esimerkiksi kotoa. Luentoja on järjestetty Zoom-palvelun kautta siten, että luennoitsija jakaa luentodioja omalta tietokoneeltaan opiskelijoille, jotka näkevät diat omalla näytöllään. Samalla luennoitsija luennoi, kuten normaalisti, ja opiskelijat voivat vuorovaikuttaa luennon aikana kysymysten avulla. Kaikkia töitä ei kuitenkaan voida toteuttaa etänä tietokoneen avulla, kuten kaupan asiakaspalvelua ja hyllytystä.

Vaihtoehtona etätyöskentelyyn, jossa tarvitaan ihmistä fyysisesti läsnä, voidaan käyttää etäläsnäolorobotteja [4]. Esimerkiksi kirurgit eivät voi toteuttaa leikkauksia pelkän tietokoneen avulla, mutta robotin avulla voidaan simuloida kirurgin läsnäoloa. Sen avulla toteutetaan kirurgiset operaatiot siten, että kirurgi ei itse ole fyysisesti paikalla, vaan ohjaa robottia etänä. Etäläsnäolon kehittyessä voidaan etätyöskentelyä hyödyntää paremmin myös normaaleissa olosuhteissa. Esimerkiksi erikoistuneet lääkärit ja kirurgit voivat toimia isoissa kaupungeissa, esimerkiksi Suomessa Helsingissä, mutta toteuttaa toimenpiteitä robottien avulla pienillä paikkakunnilla.

Tavoitteena on tehdä sosiaalisista roboteista enemmän ihmisenkaltaisia, luotettavia ja luoda niin realistinen kokemus, että robotin ympärillä olevista ihmisistä todella tuntuisi siltä, kuin robottia etänä käyttävä henkilö olisi fyysisesti läsnä tilanteessa. Tämän saavuttamiseksi robotin täytyy pystyä vuorovaikuttamaan ympäröivien ihmisten kanssa sillä tavoin kuin oikea ihminenkin tekisi. Esimerkiksi, robotti voisi kääntää päätään ja silmiään puhujaa kohti. Lisäksi robotin täytyy osata puhua, jotta käyttäjä voi ottaa osaa keskusteluun. Robotin täytyy myös nähdä ja kuulla, jotta robottia käyttävä henkilö saisi kaiken saman informaation, kuin jos hän itse olisi paikalla. Lisäksi olisi hyödyllistä, jos robotti voisi liikuttaa raajojaan, jotta se voisi käyttää elekieltä esimerkiksi puhuessaan samalla tavalla kuin ihmiset tekevät.

Katsekontaktilla on iso merkitys ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa. Katseella yleensä ilmaistaan tarkoituksella tai huomaamatta oma huomion kohde.

Yleensä keskusteluissa muiden ihmisten kanssa jaettu huomio koetaan tärkeäksi. Kahdenkeskisessä vuorovaikutuksessa toisen osapuolen katse pois puhujasta voi esimerkiksi merkitä, että katseen suunnassa on jotain joka kiinnittää katsojan huomion, tai että katsoja haluaa kiinnittää katseellaan puhujan huomion katseen suuntaan [5]. Robotin kyetessä hyvään katsekontaktiin, päästään lähemmäksi luonnollista vuorovaikutusta.

Robotit eivät kuitenkaan ole ainoa tapa edistää etäläsnäoloa. Samaa voidaan tavoitella hologrammien avulla. Tästä esimerkkinä Googlen Project Starline [6].

Tässä työssä esitellään eräs ratkaisu etäläsnäolon toteuttamiseen robottipään ja robotin silmien avulla. Työssä esitellyssä järjestelmässä robotin silmiä ohjataan videokuvan avulla, jota voidaan saada esimerkiksi kannettavan tietokoneen kameran avulla.

2. ROBOTTIEN KÄYTTÄMINEN ETÄLÄSNÄOLOSSA

Robottien käyttäminen mahdollistaa uusia tapoja etätyöskennellä. Kaikissa tilanteissa robotti ei ole yksin, vaan työskentelee muiden ihmisten kanssa. Ihmismäisen robotin kanssa työskentelyä voidaan inhimillistää esimerkiksi lisäämällä robottiin tunteiden ja eleiden ilmaisemisen mahdollisuus. Tunteita ja eleitä voidaan ohjelmoida suoraan robotin ohjaukseen, esimerkiksi lisäämällä toiminto, joka liikuttaa robottia tietyllä ennalta määrätyllä tavalla. Liike voi esimerkiksi olla katseen seuraaminen, silmien pyörittely tai hymyileminen. Toinen tapa ohjata robottia on seurata robotin käyttäjän liikkeitä. Tässä tapauksessa käytetään erilaisia sensoreita tai kameroita käyttäjän liikkeen havaitsemiseksi. Robottiin ei siis ole ennalta ohjelmoitu valittuja liikkeitä, vaan se pyrkii simuloimaan käyttäjän toimintoja. Tällä tavalla ohjatussa robotissa voi yhdistyä käyttäjän suunnittelemat liikkeet, kuten käden liikuttaminen työtä tehdessä, sekä käyttäjän tahattomat liikkeet, kuten silmien pyörittely, käsien hermostunut liike puhuessa, sekä puhujan seuraaminen pään ja silmien liikkeen avulla.

Eräs tapa osoittaa tunteita ja inhimillisiä eleitä on käyttää robotin silmiä ilmeiden tuottamista varten. Robotin silmien ohjaamista varten voidaan käyttäjän silmien liikettä seurata esimerkiksi videokuvan avulla. Kamerasta saadun datan avulla ohjataan robotin silminä toimivien kameroiden suuntaa [7, 8]. Silmien seurantaa varten tarvitaan kuitenkin riittävän tarkka kuva, jotta silmien seuranta onnistuu ilman suuria virheitä [9]. Tarkkuus ja nopeus silmien seurannassa ovat tärkeitä, sillä robotin havainnoitsijan tulisi saada mahdollisimman luonnollinen käyttökokemus.

Ongelmia etäläsnäolon käyttöön ovat esimerkiksi robotin mekaaniseen liikkumiseen ja tietoliikenteeseen liittyvät ongelmat. Silmien ja eleiden esittäminen robotin avulla ovat yksi esimerkki robotin mekaanisen liikkumisen ongelmista [10].

Robotin inhimillistämisessä tulee kuitenkin ottaa huomioon Morin ajatus oudosta laaksosta (engl. uncanny valley) [11]. Oudon laakson ajatuksena on se, että tehdessä robotista ihmismäisempää luottamus robottiin kasvaa. Tietyssä pisteessä robotti on kuitenkin niin ihmismäinen, mutta selvästi erotettavissa robotiksi, jolloin luottamus robottiin laskee jyrkästi.

2.1. Etäläsnäolorobotti

Robotteja voidaan käyttää apuna etäläsnäolossa luomaan tunnetta, että esimerkiksi kokouksen, tai keskustelun toinen osapuoli on paikalla, vaikka robotin ohjaaja olisi toisella puolella maailmaa [12].

Tämän lisäksi robotteja voidaan käyttää apuna tilanteissa, missä ihminen ei voi olla paikalla esimerkiksi vaarallisen ympäristön takia. Vaarallinen ympäristö voi olla esimerkiksi erittäin korkean tai erittäin matalan lämpötilan alue, tai alue jossa on radioaktiivista säteilyä. Tämän lisäksi robottia voidaan käyttää esimerkiksi sellaisten henkilöiden hoitamiseen, jotka sairastavat herkästi tarttuvia tauteja, kuten COVID-19 [13].

Etäläsnäoloa voidaan hyödyntää myös esimerkiksi avaruusmatkailussa sekä sen tutkimisessa. Etäläsnäoloa on käytetty Mars-operaatioiden simulointia varten [14]. Ihmisten miehittämä avaruusmatkailu vaatii suuria kuluja. Esimerkiksi avaruuspuku astronautille on erittäin kallis. Tämän lisäksi ihmisen täytyy syödä ja huolehtia

muista tarpeista, mikä asettaa uusia vaatimuksia matkalle. Robotin ei tarvitse syödä, ja koska robotin ei tarvitse esimerkiksi hengittää, voidaan ihmisen kannalta tärkeitä ominaisuuksia jättää huomioimatta robotin osalta. Robotin tulee tietenkin olla tarpeeksi kestävä, ettei se vikaannu, mutta robotilla ei ole samanlaista vaatimusta hengissä pysymiseen kuten ihmisellä. Robotti voi tietenkin olla itseään ohjaava, mutta robottia voitaisiin ohjata esimerkiksi maan pinnalta tai mahdollisesti avaruusaluksesta käsin. Varsinkin maan pinnalta ohjaamisessa tulee ottaa huomioon hyvin pitkä viive komentojen välillä. Esimerkiksi tiedonsiirto yhteen suuntaan Maan ja Marsin välillä voi kestää jopa 20 minuuttia [15].

Etäläsnäolorobotteja voidaan käyttää myös parantamaan liikuntakyvyttömiä ja liikuntavaikeuksista kärsivien henkilöiden itsenäisyyttä. Tässä tapauksessa käyttäjä voi ohjata robottia tietokoneen avulla omasta kodistaan esimerkiksi käymään kaupassa tai jopa tekemään töitä. Esimerkiksi Japanissa on kahviloita, joissa robotit toimivat tarjoilijoina. Näitä robotteja ohjataan etäyhteyden avulla, ja robottien ohjaajat voivat olla liikuntakyvyttömiä [16].

Etäläsnäolorobotin käytössä tärkeä huomioitava asia on viive käyttäjän ja robotin välillä. Tämän lisäksi ihminen ei välttämättä voi olla robotin kanssa samassa tilassa käytön aikana. Kyseessä voi olla edellä mainittu vaarallinen tila, johon ihminen ei voi mennä, tai robotti voi olla eri tilassa käyttäjän kanssa, jolloin käyttäjän ei ole järkevää olla auttamassa robottia. Jos robotti kaatuu, eikä pääse ylös, robotti voi olla käyttökelvoton.

Etäläsnäolorobotin käytössä voi olla hyvin kalliita laitteita. On siis tärkeää, että laitteita käytetään oikein. Eräs ongelmatilanne, mikä voi tulla vastaan on alkoholin käyttö laitteiden ohjauksen yhteydessä. Toinen merkittävä tekijä on unenpuute. Väsynyt käyttäjä saattaa ohjata robottia hyvin huonosti ja aiheuttaa virheitä, tai rikkoa laitteistoa ajon aikana. Esimerkiksi verikokeen suoritus ennen jokaista ajoa voi olla kallista ja aikaavievää. Kyseinen prosessi on myös hyvin päällekkäistä, eivätkä työntekijät todennäköisesti halua osallistua verikokeeseen ennen robotin käyttöä. Alkoholin ja rauhoittavien huumeiden käyttö hidastaa huomattavasti silmien liikkeen nopeutta sekä ihmisen kykyä seurata liikkeessä olevia kohteita [17]. Silmiä seuraavaan järjestelmään olisi siis mahdollista implementoida osio, joka esimerkiksi tutkisi käyttäjän silmien liikkeen ennen ajoa. Järjestelmässä etsittäisiin silmien liikkumisen tiedoista mahdollisia poikkeamia normaalista. Tämän tiedon avulla voitaisiin arvioida, onko robotin käyttäjä valmis käyttämään laitteistoa.

2.1.1. Käyttäjän varusteet etäläsnäolorobotin käyttämiseen

Robotin ohjaamiseen ja robotin kokeman maailman sisältämän tiedon esittämiseen käyttäjälle voidaan käyttää erilaisia varusteita, kuten virtuaalitodellisuaslaseja (VR-lasit), sekä virtuaalitodellisuusohjaimia [18]. VR-lasien käytössä tulee ottaa huomioon käyttäjän pahoinvoinnin mahdollisuus käyttäjän liikkeen ja VR-lasien näyttämän kuvan eron takia [19]. Muita laitteita ovat erilaiset puettavaa elektroniikkaa sisältävät asusteet, kuten hanskat, joiden avulla seurataan käyttäjien liikettä ja annetaan käyttäjälle tuntemus, että tämä koskee jotain robotin koskettaessa esineitä [20, 21]. Videokuvaa voidaan hyödyntää käyttämällä kameroita kuvaamaan esimerkiksi värikkäitä asusteita, jolloin kuvan osiot erottuvat helpommin [22]. Kuvan avulla

voidaan määritellä esimerkiksi käden asento, erottamalla kuvasta käden eri osiot värien avulla. Toinen vaihtoehto on käyttää ulkoisia sensoreita tai mekaanista tukirankaa (engl. exoskeleton), joiden avulla mitataan esimerkiksi sormien asentoa. Kun tiedetään käden asento, voidaan tämä tieto hyödyntää siten, että robottikättä liikutetaan samalla tavalla, kuten käyttäjä liikuttaa omaa kättään [23].

2.2. Robotin ja ihmisen vuorovaikutus

Katsekontakti ihmisten välillä toimii protokollan tavoin, ikään kuin vahvistuksena siitä, että katseen molemmat osapuolet suostuvat siitä seuraavaan kanssakäymiseen, mikäli katsekontakti tehtiin tahallisesti. Tätä protokollaa voidaan hyödyntää myös robottien ja ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa. Jos ihminen huomaa robotin yrittävän muodostaa katsekontaktia, voi hän olettaa että robotti teki sen tahallaan [5]. Katsekontaktin aloittamisen jälkeen robotin on tärkeää pitää katsekontaktia yllä, jotta ihmisen huomio kiinnittyisi robottiin. Tätä ei kuitenkaan saisi tehdä täysin passiivisesti tuijottamalla, vaan parempi tapa olisi saada robotti viestimään ilmeillään ja eleillään olevansa mukana keskustelussa [24, 25]. Robotin katsekontaktin luontevuutta vahvistaa esimerkiksi se, jos robotin katse siirtyy välillä myös pois ihmisestä reagoimalla esimerkiksi muihin asioihin ympärillään [26].

Etäläsnäolona robotin kautta on käytössä kolme eri rajapintaa tai vuorovaikutusta. Ihmisen ja robotin, robotin ja ihmisen, sekä ihmisen ja ihmisen välinen vuorovaikutus. Robotin kanssa työskentelevä käyttäjä on tekemisissä robotin kanssa, jonka liikkeitä ohjaa ihminen. Tämä vuorovaikutus on kaksikerroksinen, koska hän keskustelee robotin kanssa, mutta kuvittelee ihmisen sen tilalle. Robottia ohjaavalla käyttäjällä on kaksi mahdollisuutta visuaalisen tiedon saamiseen: tietokoneen näyttö tai VR-lasit. Tietokoneen näyttöä käyttäessä robotin käyttäjä ei pysty kääntämään robotin päätä omilla liikkeillään, koska tietokoneen näyttö on paikallaan. Robotti kopioi käyttäjän liikkeitä ja näyttää ne robotin luona oleville henkilöille. VR-laseja voidaan hyödyntää koko pään liikkeiden seuraamiseen ja samalla voidaan käyttää tätä dataa etänä olevan robotin pään ohjaamiseen. Tässä tapauksessa VR-lasien kanssa robotin käyttäjä voi katsoa ympärilleen etänä ja nähdä, mitä robotti näkee.

2.2.1. Tahallisen ja tahattoman liikkeen vaikutus ihmisen ja robotin väliseen vuorovaikutukseen

Robotin ohjaamisessa voidaan käyttää tarkoituksenomaisia liikkeitä ohjaamalla robottia esimerkiksi ohjaimen tai hiiren ja näppäimistön avulla, mutta robotin ohjaamisessa voidaan hyödyntää esimerkiksi ulkoista tukirankaa tai videokuvaa. Jos robotti on ohjelmoitu huomioimaan esimerkiksi silmien pieniä liikkeitä, eli jos robotti voi simuloida ihmissilmän liikettä tarkasti esimerkiksi videopuhelusta saadun kuvan, tai päähän asetettavan laitteiston, kuten virtuaalilasien avulla, tulee robotti liikuttamaan silmiään, kuten ihminen. Tässä tapauksessa robotin liikkeissä on mukana ihmisen aiheuttamaa tahatonta liikettä. Tahatonta liikettä voi esimerkiksi olla silmien pyörittely, tai silmien liikuttaminen pois kuuntelijasta, tai puhujasta. Muita liikkeitä,

mitä käyttäjä ei välttämättä huomaa, voi olla esimerkiksi olkapäiden kohottaminen ja käsien hermostunut liike.

Kun robottia liikutetaan ihmisen liikkeitä simuloiden, ovat nämä pienet liikkeet tärkeitä ihmisen ja robotin vuorovaikutuksessa. Robotti voi nyt välittää sellaisia eleitä, mitä käyttäjä ei välttämättä itse huomaa tekevänsä, mikä lisää vuorovaikutukseen inhimillisyyttä. Ohjaimella ohjattavan robotin ja käyttäjän liikkeillä ohjattavaan robotin ero on se, että käyttäjän liikkeet ovat luonnollisia ja ohjaimella tehdyt liikkeet ovat valmiiksi ohjelmoituja.

2.2.2. Robottisilmä

Ihmissilmiä liikuttavat lihakset, mutta robotin silmiä liikuttavat moottorit, esimerkiksi servot. Etäläsnäölorobotin tulisi simuloida ihmisen liikkeitä mahdollisimman tarkasti. Robotin silminä voidaan käyttää myös näytölle piirrettävää kuvaa [25]. Tällöin ei käsitellä silmien mekaanista liikkumista robotin päässä, vaan piirretään kuva, tai valitaan valmiista kuvista oikeassa asennossa oleva silmä, joka näytetään katsojalle.

Robotin silmien näköominaisuutena voidaan käyttää kameraa. Kameran avulla voidaan joko tallentaa robotin näkemä tilanne, tai kameran kuva voidaan lähettää robotin käyttäjälle reaaliajassa. Robotin silmien näköominaisuus ei siis vaadi samanlaista pientä liikettä, kuten ihmissilmä. Kaikkea ihmissilmien ominaisuuksia ei siis tarvitse simuloida robottiin.

3. KASVOJEN, SILMIEN JA LIIKKEEN TUNNISTAMINEN VIDEOKUVASTA

Kasvojen tunnistusta ja silmien seuranta voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin, kuten robotin ohjaamiseen [27] ja henkilön tunnistamiseen [28, 29]. Henkilön tunnistamisessa käyttökohteena voi olla tunnistautuminen esimerkiksi sovellukseen, palveluun tai laitteen käyttöön.

Robotin liikuttamista varten tarvitaan dataa, jota voidaan saada esimerkiksi videokuvasta. Robottipään liikuttamista varten voidaan hyödyntää webkameran kuvaa. Kuvasta täytyy tunnistaa kasvot ja käytetyt kasvojenpiirteet kuten silmien paikka. Tämän tiedon avulla voidaan lähettää robotille käskyjä, joiden avulla robottia liikutetaan.

3.1. Kasvojen tunnistus

Kasvojen tunnistuksessa haetaan ensin kuvasta kasvot, jonka jälkeen voidaan tunnistaa löydettyistä kasvoista muita osia, kuten silmät. Löydettyjen piirteiden avulla voidaan esimerkiksi selvittää henkilön tunnetila ilmeistä ja eleistä. Kasvojen piirteiden avulla voidaan verrata kuvassa olevia kasvoja tietokannassa oleviin kasvoihin ja päätellä, kuka kuvassa on. Etäläsnäolon kannalta tärkeää on löytää kasvojen paikka- ja asentotieto, joiden avulla ohjataan robottia.

Kasvojen tunnistukseen on useita erilaisia algoritmeja. Viola-Jones -menetelmä [30] on yksi näistä. Viola-Jones -menetelmässä valitaan ensin Haar-piirteet, joiden avulla tunnistus suoritetaan. Haar-piirteiden käytön ajatuksena on löytää sellaisia piirteitä, jotka löytyvät lähes kaikilta tunnistettavan kohteen yksilöiltä. Esimerkiksi kasvojen tunnistuksessa eräs Haar-piirre on se, että silmien alue on nenän aluetta tummempi. Tämän jälkeen muodostetaan olennainen kuva liittämällä Haar-piirteiden alueille suorakulmiot. Kolmantena vaiheena suoritetaan Adaboost-opetus, jonka tarkoituksena on tehostaa heikkoja luokittelijoita. Viimeisenä yhdistetään luokittelijoiden keräämää tietoa ja muodostetaan tämän avulla uudet paremmat luokittelijat. Muita kasvojen tunnistamisen menetelmiä ovat esimerkiksi neuroverkot sekä tukivektori-koneet, jotka opetetaan tunnistamaan kasvot kuvasta [31].

3.2. Silmän tunnistus

Silmän tunnistuksessa on kaksi vaihetta. Silmä täytyy ensin tunnistaa kasvoista, ja sen jälkeen voidaan tunnistaa silmän paikka seuraamalla esimerkiksi pupillia. Silmän liikkeiden tunnistamista ja seuraamista on tehty päähän asetettavilla järjestelmillä [32, 33].

3.2.1. Silmän tunnistus kasvoista

Silmän tunnistuksessa voidaan käyttää hyödyksi kasvojen tunnistusta. Kun kasvot on saatu tunnistettua, voidaan kuvaa rajata kasvojen piirteiden avulla käyttämällä

esimerkiksi Gabor-kerneleitä [34] tai Haar-piirteitä [35] sellaiseksi alueeksi, josta nähdään vain silmä. Tämä helpottaa silmien tunnistusta. On laskennallisesti kevyempää tutkia pienempää aluetta, josta tiedetään jo valmiiksi tarvittavaa tietoa. Silmän tapauksessa voidaan esimerkiksi olettaa silmän sijaintitieto ja päätellä kuvan sisältämää dataa. Esimerkiksi pupilli on silmässä tummempi kuin muut alueet. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi silmien tunnistamisessa, kun tiedetään, että tutkittavassa alueessa on kasvoista näkyvillä vain silmä. Muussa tapauksessa tumma alue voi olla mitä tahansa, eikä sen avulla voida tehdä päätelmiä esimerkiksi silmän keskipisteestä.

Silmän voi tunnistaa kaksiulotteisesti (2D) tai kolmiulotteisesti (3D). 3D-tunnistamista käytetään harvemmin, koska se vaatii monta kuvakulmaa silmästä. 2D-tunnistamisessa pitää silti ottaa huomioon silmän 3D-muoto, koska pupilli muuttuu ympyrästä ellipsiksi silmän liikkua keskeltä sivulle 2D-kuvassa [36].

3.2.2. Kuvan prosessointi

Kuvaa voidaan muokata sellaiseksi, että silmän tunnistaminen ja seuraaminen kuvasta on helpompaa. Esimerkiksi kuvan kontrastia voidaan parantaa histogrammin tasoituksella. Histogrammin tasoituksessa harmaasävykuvan intensiteetit jaetaan koko käytetylle asteikolle, esimerkiksi välille [0, 255]. Tämä toteutetaan laskemalla todennäköisyydet kaikille intensiteeteille. Globaali histogrammin tasaus laskee tietyn intensiteetin pikselien määrän kuvassa verrattuna kaikkiin pikseleihin. Todennäköisyys intensiteetille k saadaan kaavan 1 avulla. [37]

$$P_k = \frac{n_k}{N} \quad (1)$$

Josta saadaan kertymäfunktio kaavalla 2.

$$Cdf = P_1 + P_2 + \dots + P_{255} \quad (2)$$

Muita menetelmiä ovat esimerkiksi paikallinen histogrammin tasaus, nopea dynaaminen quadraattinen histogrammin tasaus sekä rajattu adaptiivinen histogrammin tasaus [38]. Jokaisessa menetelmässä on omat hyvät ja huonot puolensa, joiden perusteella niitä voidaan käyttää [37].

3.2.3. Silmän asennon tunnistaminen

Katseen tunnistamista varten voidaan käyttää kolmea pääalajia, jotka ovat optinen-, mekaaninen-, sekä elektro-okulograafinen tunnistus [39, 40]. Mekaanisessa tunnistuksessa käytetään hyväksi silmien päälle asetettua laitetta, esimerkiksi erikoispiilolinsejä, jotka lähettävät omaa paikkatietoaan, josta voidaan määrittää silmän paikka. Elektro-okulograafisessa tunnistuksessa mitataan silmien ympärillä olevien lihasten sähköistä potentiaalia elektrodien avulla [40]. Optisessa tunnistuksessa käytetään visuaalista tunnistusta, esimerkiksi pupillin tai Purkinje-kuvien avulla. Purkinje-kuvat, tai Purkinje-heijastumat ovat kohteiden heijastumia silmän pinnalla. Pupillin sijainti silmässä kertoo ihmisen katseen suunnan.

Pupillin tunnistukseen voidaan käyttää esimerkiksi pupillin värieroa muuhun silmään nähden [41]. Kyseisessä menetelmässä käytetään hyväksi pupillin mustaa

väriä. Menetelmässä verrataan mustien pikselien määrää valkoisten pikselien määrään alueella, ja sen perusteella määritetään silmän keskusta. Pikselien tummuuden vertailussa käytetään harmaasävykuvia, jotta vältetään värikuvien turha informaatio. Harmaasävykuvasta voidaan tehdä vielä binäärikuva rajaamalla jokin tietty alue kuvasta, esimerkiksi silmä.

Silmien seuraamisessa on ongelmakohtia. Näitä ovat esimerkiksi huono valaistus, ripsien aiheuttama silmien osittainen peittyminen [42], sekä silmälasien aiheuttama heijastus. Kyseiset ongelmakohdat heikentävät pupillin näkyvyyttä kuvasta. Silmäripset voivat esimerkiksi peittää pupillin kokonaan kuvasta, jolloin silmän paikkatietoa ei saada ollenkaan selville. Silmälasien heijastus ja huono valaistus voivat aiheuttaa epävarmuutta silmän tunnistamisen kohdalla. Oikean paikan sijasta järjestelmä tunnistaakin esimerkiksi silmän kulman tai ripset silmän keskustaksi [43].

Ongelmia voidaan vähentää minimoimalla hättävää vaikutuksia. Esimerkiksi kamera voidaan asettaa siten, että ripset ovat kuvassa mahdollisimman vähän silmän päällä. Tämän lisäksi kuvan valaistusta voidaan lisätä esimerkiksi kameran viereen asetetulla valolla [42]. Silmälasien aiheuttamaa heijastusta voidaan suodattaa pois kuvasta siten, että silmä jää kuvaan selkeämmin [43].

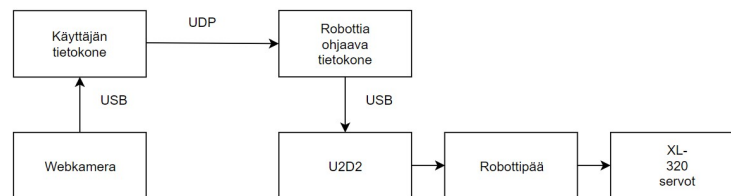
4. TOTEUTETTU JÄRJESTELMÄ

Tässä työssä luotiin järjestelmä, jossa kuvataan webkameralla käyttäjän kasvoja ja liikutetaan robotin silmät samaan asentoon etäyhteyden avulla. Käyttäessä pelkkää näyttöä itse käyttäjä ei koe eroa normaaliin tapaamiseen webkameran kautta. Muut tapaamisessa paikalla olevat kokevat etänä olevan henkilön läsnäolon liikkuvan robotin kautta. Työ voitaisiin erikoistaa toimimaan VR-lasien avulla siten, että robotin silminä toimivien kameroiden kuva ohjataan VR-laseihin. Tässä työssä keskityttiin käyttämään pelkkää näyttöä.

4.1. Laitteisto

Järjestelmään tarvitaan käyttäjälle tietokone, webkamera ja internet-yhteys. Robotin ohjaukseen tarvitaan toinen tietokone ja robotti kopioimaan käyttäjän silmien liikkeitä.

Työssä on käytössä avoimen lähdekoodin Inmoov-robotin pää [44]. Robotin päästä tässä työssä käytetään vain silmiä liikuttavia osia. Robotin pää saatiin työtä varten Oulun yliopistolta. Kuvassa 1 esitellään laitteisto ja laitteiden tiedonsiirron kulku.



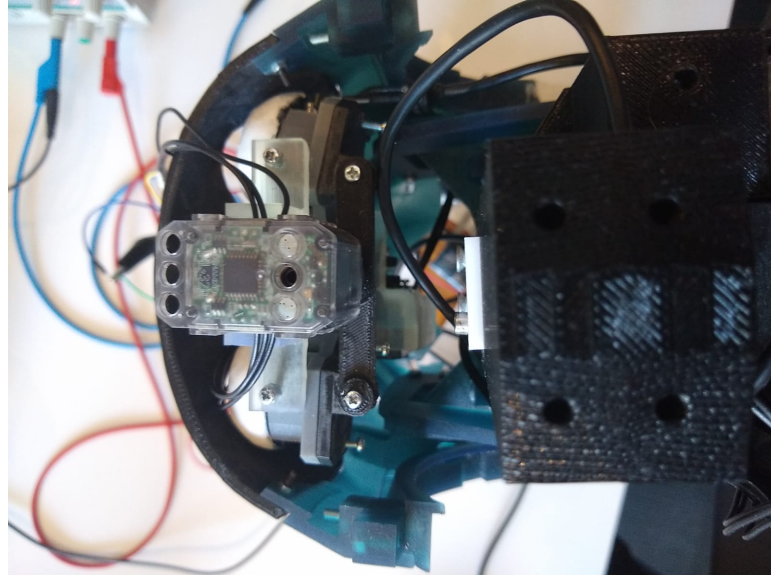
Kuva 1. Kaavio laitteistosta

Taulukossa 1 esitellään työssä käytetyt komponentit. Silmiä ohjataan kahden Dynamixel XL-320 -servon avulla, joista toinen ohjaa vaakasuuntaista liikettä, ja toinen pystysuuntaista liikettä. Robottipäässä on myös neljä Dynamixel XL-430 -servoa, joiden avulla voidaan ohjata robotin päätä.

Silmiä ohjaaville servoille annetaan käskyt koordinaatteina liukulukuina välillä $[-1, 1]$. Käyttämällä hyväksi molempia servoja yhtä aikaa, voidaan robotin silmiä ohjata kuten ihmissilmiä. Työssä käytetyssä robotissa silmien vaakasuuntaisesta liikkeestä vastaava servo oli asetettu siten, että silmä ei katsonut suoraan servojen ollessa keskiasennossa. Tämän takia sen ohjaamiseen tuli käyttää arvoja väliltä $[-2, 0]$. Vastaavassa tapauksessa servojen käyttämien arvojen rajat voidaan määritellä varovasti kokeilemalla eri arvoja. Silmien ollessa ääriasennossa tietyssä arvossa, on silloin tämä kyseisen suunnan liikkeen ääriarvo servolle.

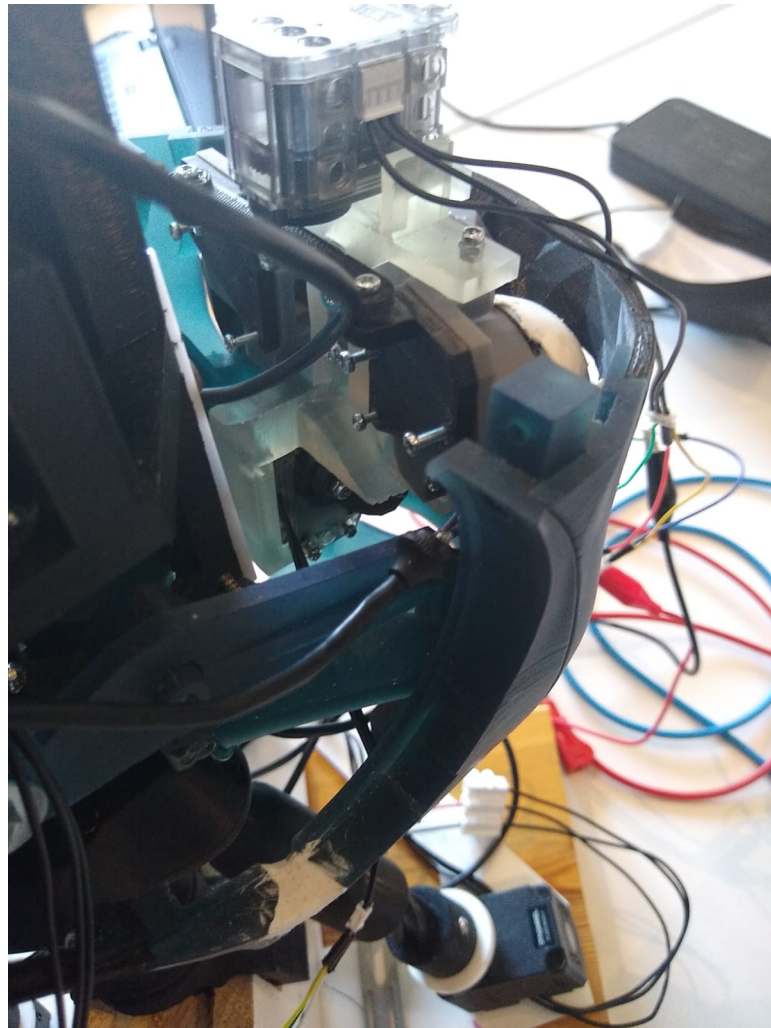
Taulukko 1. Komponenttiluettelo

Komponentti	Komponentin nimi
Servo	Dynamixel XL-320
Adapteri (Servojen ohjaus)	U2D2 [45]
Kaapelit	USB-kaapeli
Webkamera	GXT 1160 Vero Streaming Webcam
Virtalähde	7,4V Virtalähde



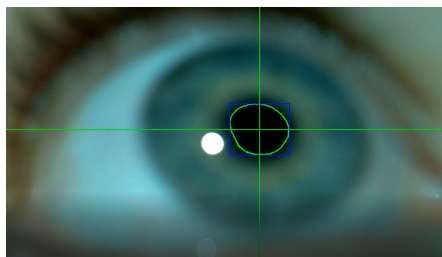
Kuva 2. Kuva robotista yläpuolelta

Kuvassa 2 esitetään silmiä sivusuunnassa liikuttavan servon rakennelma. Servo liikuttaa 3D-tulostettua akselia, joka on kiinnitetty molempiin silmiin. Silmät ovat keskipisteestään kiinni ruuveilla rungossa, minkä ansiosta ne voivat pyöriä ympyrän muodossa, kun servoa liikutetaan.

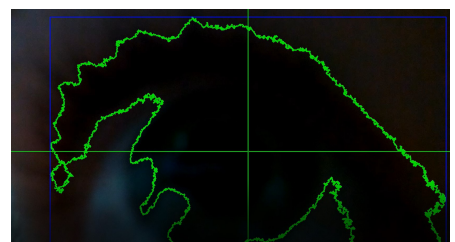


Kuva 3. Pystysuunnan liikuttamisen osat

Kuvassa 3 esitellään pystysuunnan liikuttamisen osat. Servon pyöriminen liikuttaa koko osiota kääntäen samalla silmiä pystysuunnassa. Järjestelmää testattiin ilman ylimääräistä valoa ja valon kanssa. Ilman valoa silmän seuraamisen tarkkuus heikkeni huomattavasti. Kuvassa 4 esitellään järjestelmän toimintaa ilman erillistä valoa, ja kuvassa 5 erillisen valonlähteen kanssa. Ilman erillistä valonlähdettä silmän seuranta on erittäin hankalaa käytetyllä menetelmällä. Valonlähteeksi riittää esimerkiksi kattovalo tai pöytälamppu, jonka valossa käyttäjä on kokouksen aikana.



Kuva 4. Silmän tunnistus erillisen valonlähteen kanssa

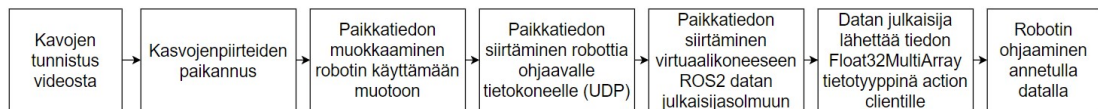


Kuva 5. Silmän tunnistus ilman erillistä valonlähdettä

4.2. Ohjelmisto

Ohjelmisto kehitettiin Python-ohjelmointikielellä käyttäen apuna OpenCV- ja Dlib-kirjastoa. OpenCV-kirjastosta hyödynnettiin esimerkiksi matalan tason kuvankäsittelyfunktioita. Kuvankäsittelyssä ensin parannetaan kuvan kontrastia käyttämällä histogrammin tasausta, minkä jälkeen kuvalle tehdään bilateraalin suodatus ja eroosio. Tämän jälkeen kuvasta muodostetaan binäärikuva käyttäen hyväksi raja-funktiota. Dlib-kirjastoa käytettiin kasvojentunnistusta varten. Dlib-kirjastoa hyödynnetään kasvojenpiirteiden tunnistamiseen käyttäen valmista tietoaaineistoa. Käytössä on i-BUG 300-W -tietoaaineisto, jonka avulla Dlib-kirjaston kasvojenpiirteiden ennustaja on opetettu.

Robotin ohjausta varten käytettiin ROS2 -järjestelmää. Koodin toimivuutta testattiin simuloimalla robotin toimintaa RVIZ-ohjelmaa käyttäen. Testauksessa hyödynnettiin sulautettujen ohjelmistojen projektikurssia varten tehtyä järjestelmää [46].



Kuva 6. Kaaviokuva järjestelmän toiminnasta

Robotin silmiä ohjataan ROS2-järjestelmän action clientin avulla. Robotin silmiä ohjataan silmänseurannassa löydetyn silmän absoluuttisen paikkatiedon avulla.

Datan julkaisija (engl. data publisher) ja action client solmut toimivat yhdessä siten, että datan julkaisija lähettää 20 Hz taajuudella action clientille servojen paikkatietoa. Tämä lähetetään 32 bittisenä liukulukuna. Action client lähettää tämän servoja ohjaavalla serverille, joka lähettää käskyn servolle tämän ollessa valmiustilassa, jolloin se liikkuu haluttuun asentoon. Action clientin lähettämässä viestissä määritellään ohjattavan servon nimi, liikkeen nopeus, liikkeen aloitushetki sekä liikkeen lopetuspaikka. Servon aloituspaikkaa ei tarvitse tuntea, vaan liikkeitä ohjaava serveri hoitaa servojen liikuttamisen. Liikkeen aloitushetki määritellään sekunteina ja nanosekunteina käyttäen kokonaislukuja. Tässä työssä kaikki käskyt lähetetään käyttäen aloitushetkeä 0 sekuntia ja 0 nanosekuntia. Liikkeen nopeus annetaan kokonaislukuna 0. Järjestelmässä ei ole määritetty liikkeen nopeutta erikseen, mutta kyseinen parametri tulee antaa serverille käskyssä, vaikka liikkeen nopeutta ei voida muokata. Liikkeen paikka määritellään liukulukuna silmien tavoitellun asennon mukaan.

Robotin ohjaus toteutetaan omassa tietokoneessaan, ja kasvojen tunnistus toisessa. Kasvoja tunnistavalta tietokoneelta lähetetään tietoa robottia ohjaavalle tietokoneelle käyttäen tiedonsiirtoprotokollaa UDP (User Datagram Protocol) [47]. Tiedonsiirron tarpeen vähentämistä varten lähetetään robottia ohjaavalle tietokoneelle vain kaikkein tarpeellisin data. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lähetetään vain lopetuspaikka, joka voidaan antaa suoraan action clientille, ja sitä kautta robotille. Robottia ohjaavassa tietokoneessa ei siis tehdä minkäänlaista laskentaa, vaan laskenta tapahtuu käyttäjän tietokoneella. Sitten action client ohjaa robottia tai simulaatiota suoraan annetulla datalla. Käyttäjän liikuttaessa silmiään, liikkuu robotti vastaavalla tavalla.

Robottia ohjataan virtuaalikoneelta [46], joten tieto täytyy lähettää isäntäkoneelta virtuaalikoneelle. Työssä käytettiin apuna Vagrant- ja VirtualBox-järjestelmiä [48, 49]. Näitä järjestelmiä käytettäessä tulee avata virtuaalikoneelle erikseen jokin portti, jonka kautta tiedonsiirto voidaan suorittaa.

Kuvassa 6 esitellään kaaviona järjestelmän toiminta. Ensimmäisenä tunnistetaan videokuvasta kasvot käyttäen hyväksi kasvojen piirteitä. Kasvojenpiirteet paikannetaan kuvasta, ja niiden absoluuttiset koordinaatit paikannetaan. Videokuvasta tiedetään käytetyn kameran resoluutio, joten esimerkiksi silmän keskipisteen suhteellinen koordinaatti voidaan määritellä yksinkertaisen matematiikan avulla. Silmät rajataan kasvojenpiirteiden avulla, ja rajatun alueen koko tunnetaan. Nyt silmän keskipisteen löydyttyä voidaan verrata sen sijaintia rajatun alueen kokoon. Koska raja-alue ei ole jokaiselle kuvalla täydellinen, korjataan arvoa kertoimella 5 ja pyöristetään rajat ylittävät arvot maksimi- tai minimiarvoiksi. Kaavalla 3 saadaan silmien suhteelliset koordinaatit, joiden avulla ohjataan servoja.

$$(x, y) = (-1, -1) \leq (5 \cdot (2 \cdot \frac{x_1}{x_{max}} - 1), 5 \cdot (2 \cdot \frac{y_1}{y_{max}} - 1)) \leq (1, 1) \quad (3)$$

5. TESTAUS

Tässä luvussa esitellään käytetyt testausmenetelmät, testien tulokset, analysointi ja jatkokehityksen mahdollisuudet. Testit suoritettiin Oulun yliopiston kampusalueella, jossa oli tilaa testata ja olosuhteet pysyivät samanlaisina. Testaukseen käytettiin annettua Inmoov-robottipäätä.

5.1. Testin kuvaus

Järjestelmästä voidaan testata robotin silmien liikkeen viivettä, tarkkuutta tai liikenopeutta käyttäjän silmiin verrattuna. Työssä testattiin robotin silmien liikkeen viivettä pyytämällä käyttäjää katsomaan vaakasuunnan ääriasentoihin vuorotellen. Mittauksen ajanotto aloitettiin käyttäjän silmien liikkuessaa ääriasentoon. Ajanotto pysäytettiin, kun robotin silmät liikkuiivat samaan asentoon.

Robotin testauksessa selvitettiin viive käyttäjän silmien liikkeen ja robotin silmien liikkeiden välillä. Aloitushetkeksi valittiin hetki, jolloin käyttäjän silmät pysähtyivät ja lopetushetkeksi valittiin robotin silmien liikkeen pysähtyminen. Taulukossa 2 esitellään saadut testitulokset.

Taulukko 2. Testitulokset

Liikkeen kesto sekunteina
0,73
1,13
0,9
0,57
1,03
1
0,8
0,83
1,1
0,7
1,07
1,17
0,87
0,87
1,07

5.2. Analysointi

Tuloksien keskiarvo on 0,9227 sekuntia, mediaani on 0,9 ja mittausvirhe on 0,0333 sekuntia. Mittausvirhe johtuu videokameran kuvataajuudesta. Noin yhden sekunnin viive on yllättävän hyvä ottaen huomioon, että viivettä syntyy monessa kohdassa. Viivettä järjestelmään aiheuttavat silmän tunnistaminen videokuvasta, tiedonsiirto

tietokoneelta toiselle, internet-yhteyden nopeus, robotin käyttöjärjestelmän toiminnot ja moottorien liikkeet. Silmän tunnistamisen aiheuttama viive tässä työssä oli keskimäärin 0,042 sekuntia. Ohjauksen käskyjä lähetettiin 20 Hz taajuudella, mikä aiheutti 0.05 sekunnin viiveen.

Tuloksien viive on liian suuri luomaan luonnollista etäläsnäolokokemusta. Järjestelmä ei pystyisi vaihtamaan katsettaan kahden puhujan välillä luonnollisesti. Tämä nähtiin testeissä, kun käyttäjä liikutti silmiään puolelta toiselle ja robotin silmät olivat yhden liikkeen jäljessä. Syntyi siis tilanteita, joissa käyttäjä katsoi oikealle ja robotti katsoi vasemmalle.

Viiveen pienentämiseen vaadittaisiin nopeampaa kuvataajuutta kameralta, nopeampaa tiedonsiirron lähetystaajuutta ja nopeampaa taajuutta käskyjen antamiseen servoille. Jos yksikin osa on muita hitaampi, on koko järjestelmän viive suurempi. Testeissä huomattiin, että silmien liikuttamisen nopeus ei ollut rajoittava tekijä. Robotin silmät liikkuvat samalla nopeudella puolelta toiselle kuin ihmisen silmätkin.

5.3. Jatkokehitys

Pelkkä silmien liikuttaminen ei vielä luo hyvää etäläsnäolosimulaatiota. Silmien liikuttaminen antaa havaitsijalle mahdollisuuden nähdä miten käyttäjä tarkkailee tilaa, mutta tämä tarkkailu ei näy havaitsijalle luonnollisena ja ihmismäisenä. Ihmismäisyyden lisäämiseksi järjestelmään tulisi lisätä muut pään alueen liikkeet, kuten pään ja suun liikkuminen, sekä silmien räpyttely. Jatkokehityksenä tulisi testata myös silmän katseen tarkkuutta vertaamalla käyttäjän ja robotin silmien asentoja.

Vaikka tässä työssä robotin käyttämistä ei suositella etäläsnäolon parantamiseen tällaisenaan, tulisi videokuvan käyttöä etäläsnäolon parantamisessa tutkia muita ratkaisuja varten. Videokuvan voi saada jopa puhelimella, joten työssä esitelty ratkaisu on käyttäjän näkökulmasta halpa ratkaisu. Esimerkiksi kokoustilassa voidaan käyttää monimutkaisempaa teknologiaa, mikä vaatii erikoistuneempaa laitteistoa. Jos tätä laitteistoa voidaan ohjata suoraan videokuvan avulla, ei etätyöntekijä tarvitse järjestelmän käyttöön erillistä laitteistoa.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä esiteltiin järjestelmä, joka koostuu kokonaisuudessaan kahdesta tietokoneesta, robotin servoja ohjaavasta välikappaleesta sekä robotin päästä. Käyttäjä voi käyttää järjestelmää yhdellä tietokoneella esimerkiksi etäpalavereiden aikana. Robotti on järjestelmän käytön aikana toisessa tilassa, esimerkiksi erillisessä kokoushuoneessa, josta sen liikkeitä ohjataan etäyhteyden avulla.

Käyttäjän liikuttaessa silmiään, robotin silmät liikkuvat vastaavalla tavalla. Tulokset osoittivat, että järjestelmä ei kykene muodostamaan hyvää etäläsnäoloa, mutta viivettä pienentämällä ja liikkeitä lisäämällä voitaisiin saavuttaa inhimillisempi etätyöskentelykokemus esimerkiksi kokoustilanteissa, joissa osallistujat ovat mahdollisesti eri puolilla maailmaa. Lisättäviä liikkeitä voisivat olla esimerkiksi pään liikkeet ja silmien räpyttely.

Parhaimmillaan robotti voi kopioida täydellisesti ihmisen liikkeitä ja eleet. Tämä sama voidaan saavuttaa myös muilla menetelmillä, kuten hologrammeilla tai jollain vielä keksimättömällä teknologialla. Mielenkiintoiseksi jää nähdä, mitä menetelmiä tulevaisuudessa suuret yritykset kehittävät etäläsnäolon parantamiseksi, koska mielenkiintoa ja rahoitusta tälle tieteen haaralle riittää. Tämä nähdään esimerkiksi Googlen Starline projektista. Kysymykseksi jää, voisiko tulevaisuuden teknologia mahdollistaa Star Warsin hologrammien tasoisen etäläsnäolokokemuksen.

7. VIITTEET

- [1] Covid-19 adivces for public. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>. Accessed: 2021-04-6.
- [2] Lancer T., Covid-19: protecting health-care workers. Accessed: 2021-03-17.
- [3] Covid-19 prevention. https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_2. Accessed: 2021-03-17.
- [4] Villarruel J.E.G. & Corona B.T. (2008) Proposal for a remote surgery system based on wireless communications, electromyography and robotics. Teoksessa: 2008 Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA '08), ss. 93–98.
- [5] Ito A., Hayakawa S. & Terada T. (2004) Why robots need body for mind communication - an attempt of eye-contact between human and robot. Teoksessa: RO-MAN 2004. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No.04TH8759), ss. 473–478.
- [6] Google project starline. <https://blog.google/technology/research/project-starline/>. Accessed: 2021-05-26.
- [7] Shirakura N., Morita M. & Takeno J. (2005) Development of a human interface for remote-controlled robots using an eye-tracking system. Teoksessa: IEEE International Conference Mechatronics and Automation, 2005, nide 1, nide 1, ss. 351–356 Vol. 1.
- [8] Juhong A., Treebupachatsakul T. & Pintavirooj C. (2018) Smart eye-tracking system. Teoksessa: 2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), ss. 1–4.
- [9] Morozkin P., Swynghedauw M. & Trocan M. (2016) Image quality impact for eye tracking systems accuracy. Teoksessa: 2016 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), ss. 429–431.
- [10] Tsui K.M., Von Rump S., Ishiguro H., Takayama L. & Vicars P. (2012) Robots in the loop: Telepresence robots in everyday life. Teoksessa: 2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), ss. 317–318.
- [11] Mori M. (1970) Bukimi no tani [the uncanny valley]. *Energy* 7, ss. 33–35.
- [12] Tachi S. (2016) Telexistence: Enabling humans to be virtually ubiquitous. *IEEE Computer Graphics and Applications* 36, ss. 8–14.
- [13] G. Yang H. Lv e.a. (2020) Keep healthcare workers safe: Application of teleoperated robot in isolation ward for covid-19 prevention and control. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 33.

- [14] Roberts D.J., Garcia A.S., Dodiya J., Wolff R., Fairchild A.J. & Fernando T. (2015) Collaborative telepresence workspaces for space operation and science. Teoksessa: 2015 IEEE Virtual Reality (VR), ss. 275–276.
- [15] Squyres S. (2009) Interacting with robots on mars: operation of the mars exploration rovers. Teoksessa: 2009 4th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), ss. 3–3.
- [16] Japanese cafe uses robots controlled by paralysed people. <https://www.bbc.com/news/technology-46466531>. Accessed: 2021-03-22.
- [17] Wilkinson I. (1976), The influence of drugs and alcohol upon human eye movement.
- [18] Moon B.H., Choi J.W., Jung K.T., Kim D.H., Song H.J., Gil K.J. & Kim J.W. (2017) Connecting motion control mobile robot and vr content. Teoksessa: 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), ss. 355–359.
- [19] Takahashi Y. & Murata A. (2001) Change of equilibrium under the influence of vr experience. Teoksessa: Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. ROMAN 2001 (Cat. No.01TH8591), ss. 642–647.
- [20] Fernando C.L., Furukawa M., Minamizawa K. & Tachi S. (2013) Experiencing ones own hand in teleexistence manipulation with a 15 dof anthropomorphic robot hand and a flexible master glove. Teoksessa: 2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Teleexistence (ICAT), ss. 20–27.
- [21] Wang Y. & Zhang W. (2015) Data glove control of robot hand with force telepresence. Teoksessa: 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), ss. 314–319.
- [22] Schröder M., Elbrechter C., Maycock J., Haschke R., Botsch M. & Ritter H. (2012) Real-time hand tracking with a color glove for the actuation of anthropomorphic robot hands. Teoksessa: 2012 12th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2012), ss. 262–269.
- [23] Zhang B., Suzuki A. & Lim H. (2019) Development of sensitive glove type wearable robot system. Teoksessa: 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), ss. 1581–1582.
- [24] Hoque M.M. & Deb K. (2012) Robotic system for making eye contact pro-actively with humans. Teoksessa: 2012 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering, ss. 125–128.
- [25] Miyamoto T., Kurosawa Y., Ou T., Hoshino Y. & Yamada M. (2019) Proposal for interactive robot eyes to achieve eye contact between humans and a robot. Teoksessa: 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), ss. 865–868.

- [26] Yoshikawa Y., Shinozawa K., Ishiguro H., Hagita N. & Miyamoto T. (2006) The effects of responsive eye movement and blinking behavior in a communication robot. Teoksessa: 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, ss. 4564–4569.
- [27] Gu L. & Su J. (2006) Gaze control on humanoid robot head. Teoksessa: 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, nide 2, nide 2, ss. 9144–9148.
- [28] Ko T. (2005) Multimodal biometric identification for large user population using fingerprint, face and iris recognition. Teoksessa: 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop (AIPR'05), ss. 6 pp.–223.
- [29] R. H. & Safwat Hussain M.H. (2018) Surveillance robot using raspberry pi and iot. Teoksessa: 2018 International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C), ss. 46–51.
- [30] Viola P. & Jones M. (2001) Robust real-time object detection. Teoksessa: International Journal of Computer Vision.
- [31] Dang K. & Sharma S. (2017) Review and comparison of face detection algorithms. Teoksessa: 2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science Engineering - Confluence, ss. 629–633.
- [32] Hotta K., Prima O.D.A., Imabuchi T. & Ito H. (2019) Vr-hmd eye tracker in active visual field testing. Teoksessa: 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), ss. 1843–1847.
- [33] Drakopoulos P., Koulteris G.A. & Mania K. (2020) Front camera eye tracking for mobile vr. Teoksessa: 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), ss. 642–643.
- [34] Jun Qin & Zhong-Shi He (2005) A svm face recognition method based on gabor-featured key points. Teoksessa: 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, nide 8, nide 8, ss. 5144–5149 Vol. 8.
- [35] Fitriyani N.L., Yang C. & Syafrudin M. (2016) Real-time eye state detection system using haar cascade classifier and circular hough transform. Teoksessa: 2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, ss. 1–3.
- [36] Li X. & Wee W.G. (2009) An efficient method for eye tracking and eye-gazed fov estimation. Teoksessa: 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), ss. 2597–2600.
- [37] Patel S. & Goswami M. (2014) Comparative analysis of histogram equalization techniques. Teoksessa: 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), ss. 167–168.
- [38] Muniyappan S., Allirani A. & Saraswathi S. (2013) A novel approach for image enhancement by using contrast limited adaptive histogram equalization method. Teoksessa: 2013 Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), ss. 1–6.

- [39] Robinson D.A. (1963) A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. *IEEE Transactions on Bio-medical Electronics* 10, ss. 137–145.
- [40] Yamagishi K., Hori J. & Miyakawa M. (2006) Development of eog-based communication system controlled by eight-directional eye movements. *Teoksessa: 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, ss. 2574–2577.
- [41] Ionescu C., Fosalau C., Petrisor D. & Zet C. (2015) A pupil center detection algorithm based on eye color pixels differences. *Teoksessa: 2015 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, ss. 1–4.
- [42] Hoshino K., Noguchi Y. & Ono N. (2020) Eye tracking and measurement of eye rotation using a small camera installed roughly next to the eye. *Teoksessa: 2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, ss. 255–260.
- [43] Sabrina, Wibirama S. & Ardiyanto I. (2019) An improved pupil detection method under eyeglass occlusions. *Teoksessa: 2019 Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering (APCoRISE)*, ss. 1–6.
- [44] Inmoov Robot. <https://inmoov.fr/>. Accessed: 2021-02-24.
- [45] U2D2 adapter. <https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/interface/u2d2/>. Accessed: 2021-02-24.
- [46] SOP Robot Github repository. <https://github.com/ouspg/SOP-Robot2>. Accessed: 2021-02-24.
- [47] J.Postel (1980), User datagram protocol. <https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc768.html>. Accessed: 2021-03-26.
- [48] Vagrant. <https://www.vagrantup.com/>. Accessed: 2021-04-12.
- [49] Virtualbox. <https://www.virtualbox.org/>. Accessed: 2021-04-12.